

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-274477

(43)Date of publication of application : 05.10.2001

(51)Int.Cl.

H01L 43/08
G11B 5/39
H01F 10/00
H01F 10/16
H01F 10/30

(21)Application number : 2000-084081

(71)Applicant : YAMAHA CORP

(22)Date of filing : 24.03.2000

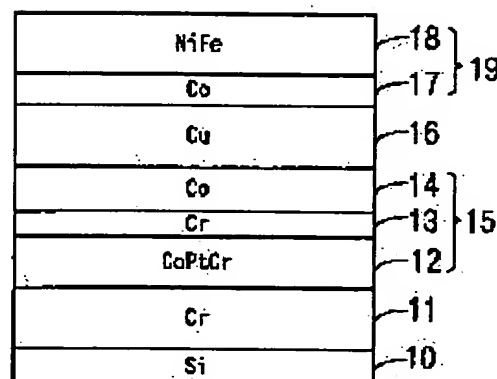
(72)Inventor : SATO HIDEKI
SUZUKI TOSHINAO
YAMASHITA MASAYOSHI

(54) MAGNETORESISTIVE ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a magnetoresistive element where an exchange combined magnetic field Hex is immune to temperature change, with a large MR ratio.

SOLUTION: The magnetoresistive element comprises a tight fitting layer 15 where direction of magnetization is fixed, a free layer 19 where the direction of magnetization changes according to external magnetic field, and an intermediate layer 16 held between the tight fitting layer 15 and the free layer 19. Here the tight fitting layer comprises a magnetic film 14 of soft magnetism and a ferro-magnetic film 12 of hard magnetism for fixing magnetization of that magnetic film. A non-magnetic metal layer 13 for suppressing ferro-magnetic interaction between the magnetic film of soft magnetism and the ferro-magnetic film of hard magnetism is inserted between them.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-274477

(P2001-274477A)

(43) 公開日 平成13年10月5日 (2001.10.5)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テマコード(参考)

H 0 1 L 43/08

H 0 1 L 43/08

Z 5 D 0 3 4

G 1 1 B 5/39

G 1 1 B 5/39

5 E 0 4 9

H 0 1 F 10/00

H 0 1 F 10/00

10/16

10/16

10/30

10/30

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号

特願2000-84081(P2000-84081)

(22) 出願日

平成12年3月24日(2000.3.24)

(71) 出願人 000004075

ヤマハ株式会社

静岡県浜松市中沢町10番1号

(72) 発明者 佐藤 秀樹

静岡県浜松市中沢町10番1号 ヤマハ株式会社内

(72) 発明者 鈴木 利尚

静岡県浜松市中沢町10番1号 ヤマハ株式会社内

(74) 代理人 100088971

弁理士 大庭 咲夫 (外1名)

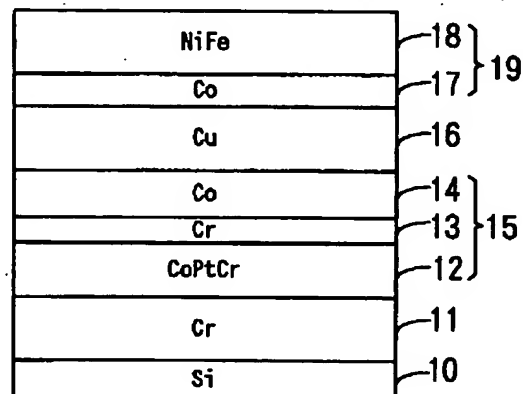
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気抵抗素子

(57) 【要約】

【課題】 交換結合磁界 H_{ex} が温度により変化し難く、かつ、MR比が大きい磁気抵抗素子を提供すること。

【解決手段】 磁化の向きが固定された固着層15と、磁化の向きが外部磁界に応じて変化する自由層19と、前記固着層15及び前記自由層19との間に挟まれる中間層16とを含んでなる磁気抵抗素子において、前記固着層は軟質磁性の磁性膜14と同磁性膜の磁化を固定する硬質磁性の強磁性膜12とからなり、前記軟質磁性の磁性膜と前記硬質磁性の強磁性膜との間の強磁性的相互作用を抑制する非磁性金属層13を同軟質磁性の磁性膜と同硬質磁性の強磁性膜との間に介在させた。



【特許請求の範囲】

【請求項1】磁化の向きが固定された固着層と、磁化の向きが外部磁界に応じて変化する自由層と、前記固着層及び前記自由層との間に挟まれる中間層とを含んでなる磁気抵抗素子において、

前記固着層は軟質磁性の磁性膜と同磁性膜の磁化を固定する硬質磁性の強磁性膜とを含むとともに、前記軟質磁性の磁性膜と前記硬質磁性の強磁性膜との間の強磁性的相互作用を失わない程度の厚さを有する非磁性金属層を同軟質磁性の磁性膜と同硬質磁性の強磁性膜との間に介在させたことを特徴とする磁気抵抗素子。

【請求項2】前記硬質磁性の強磁性膜にCoPtCrを用いたことを特徴とする請求項1に記載の磁気抵抗素子。

【請求項3】前記非磁性金属層にCrを用いたことを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の磁気抵抗素子。

【請求項4】前記非磁性金属層の厚さを0.3乃至1.0nmとしたことを特徴とする請求項1乃至請求項3の何れか一項に記載の磁気抵抗素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、磁気ヘッドや各種センサなどに適用される、固着層と自由層とを有する磁気抵抗素子に係り、特に、磁気特性が温度変化に対して安定した磁気抵抗素子に関する。

【0002】

【従来の技術】従来から、電子のスピンに依存した散乱を利用して巨大磁気抵抗効果を得る磁気抵抗素子（スピンバルブ型GMR素子）が知られている。この素子は、図7（A）に示したように、磁化の向きが固定された（磁化が固着された）硬質磁性の固着層101と、磁化の向きが外部磁界に応じて変化する軟質磁性の自由層102と、固着層及び自由層に挟まれた導電性のスペーサ層103とを有している。固着層101は、例えば、FeMn等からなる反強磁性膜101aとCoFe等からなる軟質磁性の磁性膜101bとからなり、磁性膜101bの磁化は反強磁性膜101aとの間に生じる交換結合により所定の向きに固着（固定）されている。また、自由層102はNiFe又はCoFeとNiFeの積層体等の軟質磁性膜から構成され、スペーサ層103はCu等の導電性金属膜から構成されている。

【0003】一方、特開平10-4227号公報に開示されているように、上記GMR素子よりも磁気抵抗変化率（MR比）が大きく感度が良好な素子として磁気トンネル効果を利用した磁気抵抗素子（TMR素子）が注目されている。この素子は、図7（B）に示したように、磁化の向きが固定された硬質磁性の固着層104と、磁化の向きが外部磁界に応じて変化する軟質磁性の自由層105と、固着層及び自由層に挟まれた絶縁性のバリア層106とからなっている。固着層104は、例えば、

FeMn等からなる反強磁性膜104aとCoFe又はNiFe等からなる軟質磁性の磁性膜104bとからなり、磁性膜104bの磁化は反強磁性膜104aとの間に生じる交換結合により所定の向きに固定されている。また、自由層105はNiFe又はCoFeとNiFeの積層体等の軟質磁性膜から構成され、バリア層106はAl₂O₃等の絶縁膜から構成されている。

【0004】このように、GMR素子とTMR素子は、自由層102、105と固着層101、104とを有する点で共通し、これらの自由層と固着層とに挟まれる層103、106（以下、「中間層」という。）が導電性であるか絶縁性であるかの点で相違する構成となっている。また、上述のGMR素子又はTMR素子の抵抗値は、固着層101、104の磁化の向きと、外部磁界により変化する自由層102、105の磁化の向きの相対的な関係に依存して変化する。即ち、素子の抵抗値は、固着層101、104の磁化の向きと自由層102、105の磁化の向きが同じ場合に最小となり、それらの向きが180°異なる場合に最大となる。

【0005】外部磁界はこのように変化する抵抗値に基づいて検出されるので、これらの素子においては、自由層102、105の磁化の向きが外部磁界に従って容易に変化する一方で、固着層101、104の磁化の向きは使用温度条件下において確実に固定されていることが要求される。このため、固着層101、104の反強磁性膜101a、104aとして、ブロッキング温度の高い材料を選択することが望ましく、図7（C）に示したように、固着層101の反強磁性膜101cに規則合金とされたPtMnを用いることも検討されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】ところで、固着層101、104の反強磁性膜101a、104aに上記FeMn（熱処理を施して規則合金とする必要がないもの）等を用いた場合には、温度上昇に伴って交換結合磁界Hexが直線的に減少する（0に近づく）。交換結合磁界Hexは、外部磁界により固着層の固定された磁化が反転する磁界である。この交換結合磁界Hexの減少が及ぼす影響について検討すると、図8（A）に示したように、室温では外部磁界の変化範囲内における同外部磁界の増大に伴い、素子の抵抗値は大きな値から小さな値へと階段状に減少するので、同外部磁界が所定磁界（この場合は「0」）より大きいかな否かを同抵抗値から検出可能である。しかしながら、高温（この例では180℃）になると、図8（B）に示したように、外部磁界の変化範囲内で正方向に所定の値より大きい磁界が加わった場合、及び逆方向（負方向）に所定の値より大きい磁界が加わった場合の両場合において、素子の抵抗値は小さくなり、これらの場合を区別できないという問題が生じる。

【0007】また、このような素子は、外部磁界の大き

さが交換結合磁界 H_{ex} よりも大きいかな否かを検出するためにも使用されるが、温度上昇に伴って交換結合磁界 H_{ex} が大きく変化することは、検出基準となる磁界の大きさが変化することを意味するので、その検出精度が大きく悪化するという問題がある。

【0008】一方、図7(C)に示した固着層101の反強磁性膜101cにPtMnを用いた場合には、高温アニール処理(成膜後に高温環境下に放置する処理)を実施して同PtMnを規則合金とすることにより、上記交換結合磁界 H_{ex} の温度依存性が改善される。しかしながら、高温アニール処理は他の膜に悪影響を及ぼすため、結果として製造される素子の磁気抵抗変化率が低下してしまうという問題がある。従って、本発明の目的は、交換結合磁界 H_{ex} が温度により変化し難く、かつ、磁気抵抗変化率が大きい磁気抵抗素子を提供することにある。

【0009】

【本発明の概要】上記目的を達成する本発明の構成上の特徴は、磁化の向きが固定された固着層と、磁化の向きが外部磁界に応じて変化する自由層と、前記固着層及び前記自由層との間に挟まれる中間層とを含んでなる磁気抵抗素子において、前記固着層は軟質磁性の磁性膜と同磁性膜の磁化を固定する硬質磁性の強磁性膜とを含むとともに、前記軟質磁性の磁性膜と前記硬質磁性の強磁性膜との間の強磁性的相互作用を失わない程度の厚さを有する非磁性金属層を同軟質磁性の磁性膜と同硬質磁性の強磁性膜との間に介在させたことにある。

【0010】この場合において、前記固着層の硬質磁性の強磁性膜には強磁性体の中でもキュリー温度が比較的高いもの、例えばCoPtCrを用いることが好適である。また、前記非磁性金属層にはCrを用いることが好適である。更に、好ましくは、前記非磁性金属層の厚さを0.3~1.0nm(3~10Å)とし、より好ましくは、0.5~0.8nm(5~8Å)とする。なお、前記固着層の軟質磁性の磁性膜は強磁性体膜又は強磁性体積層膜の何れであってもよく、前記中間層は導電性材料又は絶縁性材料の何れであってもよい。即ち、本発明はGMR素子及びTMR素子の何れにも適用される。

【0011】このように構成された磁気抵抗素子においては、固着層の硬質磁性膜として反強磁性膜ではなく強磁性膜を用いた。硬質磁性の強磁性膜と軟質磁性の磁性膜との間の交換結合は、キュリー温度よりも十分低い温度域においては温度依存性が小さく、しかも、硬質磁性の強磁性膜には、高温アニール処理等の高温下での処理を施さなくても、キュリー温度が室温より大きいものが多数存在する。また、上記磁気抵抗素子では、固着層の軟質磁性の磁性膜と同固着層の硬質磁性の強磁性膜との間に介在された非磁性金属層により、同軟質磁性の磁性膜と同硬質磁性の強磁性膜との間の強磁性的相互作用が失われない範囲内で抑制されるため、同軟質磁性の磁性

膜の磁化の向きと同硬質磁性の強磁性膜の磁化の向きが同時に(一斉に)反転してしまうことが回避される。

【0012】この結果、固着層の交換結合磁界が(使用温度領域における)温度変化に対して変化し難いものとなるとともに、硬質磁性の強磁性膜の磁化の向きが反転し難くなるので、外部磁界検出用の素子として好適な磁気抵抗素子が得られる。また、固着層にPtMnを採用した場合のように高温アニール処理を必要とせず、高温下で処理する工程を省略又は少なくすることができるため、磁気抵抗変化率が大きい値に維持された磁気抵抗素子を得ることができる。

【0013】

【発明の実施の形態】以下、本発明による磁気抵抗素子の各実施形態について図面を参照しつつ説明する。図1に断面を示した第1実施形態に係る磁気抵抗素子は、巨大磁気抵抗効果を利用したGMR素子であり、Siからなる基板10を備えている。基板10の上には、非磁性導電材料であるCrからなり膜厚10nmの下部電極11が形成されている。

【0014】下部電極11の上には、キュリー温度が比較的高いCoPtCrからなり膜厚25nmの硬質磁性の強磁性膜12が形成されている。この強磁性膜12の上には、非磁性導電材料であるCrからなり膜厚0.7nmの非磁性金属層13が積層されていて、同非磁性金属層13の上には、軟質磁性であるCoからなり膜厚5nmの下磁性層14が形成されている。これら強磁性膜12、非磁性金属層13、及び下磁性層14は、外部磁界によっては磁化の向きが変化しないことが期待される固着層15を構成するものであって、強磁性膜12は下磁性層14の磁化を強磁性的相互作用(強磁性的結合作用)により固定する固定磁化層(Pin層)として機能する。この意味において、下磁性層14は被固定層(Pinned層)とも呼ばれる。

【0015】上記非磁性金属層13は、強磁性膜12と下磁性層14との間の強磁性的相互作用を抑制する(小さくする)が、同作用を喪失しないように機能している。具体的には、上記固着層15の非磁性金属層13の厚さは、上記例では0.7nmとしたが、好ましくは0.3~1.0nm、更に好ましくは、0.5~0.8nmとするとよい。

【0016】下磁性層14の上には、中間層としてのスペーサ層16が形成されている。このスペーサ層16は、高電気伝導率の導電性金属であるCuからなり、その膜厚は3nmである。

【0017】スペーサ層16の上には、Coからなる膜厚1nmの下層膜17が形成され、下層膜17の上には、NiFeからなる膜厚20nmの軟質磁性の磁性膜18が積層されている。これら下層膜17と磁性膜18は、磁化の向きが外部磁界に応じて容易に変化することが期待される自由層19を構成している。

【0018】次に、上記GMR素子の作用について説明する。このGMR素子においては、磁気情報記録媒体（メディア）、或いはN極及びS極を交互にリング状に配列したロータ等が作る外部磁界の変化に伴って自由層19の磁化の向きが変化し、自由層19の磁化の向きと固着層15の磁化の向きとがなす角度が変化するため、スペーサ層16の呈する抵抗値が変化する。具体的には、自由層19の磁化と固着層15の磁化と同じ向きになると抵抗値は最小となり、両磁化の向きが180°異なると（反対方向となると）同抵抗値は最大となる。実際の使用にあたっては、図1において素子の両側に電極を形成し、この電極を介してスペーサ層16に対して同層の層面に平行な方向のセンス電流を流すことで同スペーサ層16の両端部間の抵抗値を検出し、検出された抵抗値から外部磁界を検出する。

【0019】次に、上記GMR素子の磁気抵抗変化率について説明すると、図2（A）、（B）は、環境温度をそれぞれ室温（20℃）、及び高温（180℃）とした場合の外部磁界Hに対する磁気抵抗変化率の測定結果である。縦軸に示された磁気抵抗変化率は、一般にMR比と呼ばれるものであり、素子の呈する最小の抵抗値を R_s 、素子に外部磁界Hが加わったとき同素子の呈する抵抗値を $R(H)$ とすると、MR比 $= (R(H) - R_s) / R_s \times 100\%$ にて表される値である。

【0020】この測定においては、外部磁界Hは素子の層面に平行な方向とし、同外部磁界Hを0（Oe）である状態から固着層15の固着されている磁化の向き（以下、この方向を正方向といい、正方向と反対方向を負方向という。）に+300（Oe）まで上昇させた時点でMR比の測定を開始し、その後外部磁界Hを負方向に変化させて-300（Oe）とし、再び外部磁界Hを正方向に変化させて+300（Oe）とした。また、この測定に用いた素子は、上記膜構成を有するものであって、平面視で幅1mm、長さ7mm（抵抗値は1.8Ω）とし、センス電流は長さ方向に1mAとした。

【0021】環境温度が室温の場合には、図2（A）に示したように、上記GMR素子のMR比は、略0（Oe）以上の領域において略0%となる。このとき、固着層15と自由層19の磁化は同一向きとなっている。また、略-220～0（Oe）の領域においては、固着層15の磁化は固定されている向きを維持するが、自由層19の磁化は外部磁界Hにより反転され、固着層15の磁化の向きとは反対の向きとなるため、MR比は略7%と大きくなる。更に、略-220（Oe）以下の領域（-220（Oe）よりも負方向に大きい領域）においては、下磁性層14も外部磁界Hにより磁化の向きが反転され、自由層19の磁化と同じ向きとなる。この結果、MR比は再び略0%となる。

【0022】環境温度が180℃の場合には、図2（B）に示したように、上記GMR素子のMR比は、略

0（Oe）以上の領域において略0%となる。このとき、固着層15と自由層19の磁化は同一向きとなっている。また、略-160～0（Oe）の領域においては、固着層15の磁化は固定されている向きを維持するが、自由層19は外部磁界Hにより反転するため、MR比は略5%と大きくなる。更に、略-160（Oe）以下の領域においては、下磁性層14も外部磁界Hにより磁化の向きが反転され、自由層19の磁化と同じ向きとなる。この結果、MR比は再び略0%となる。このように、交換結合磁界 H_{ex} の絶対値は、環境温度が室温である場合に対し180℃である場合の方が小さくなり、また、MR比も若干低下することが認められる。

【0023】図3の実線及び破線は、種々の温度における上記GMR素子と従来のGMR素子の交換結合磁界 H_{ex} の大きさをそれぞれ示している。この測定に用いた従来のGMR素子は、5nmのCr、10nmのNiFe、1nmのCo、3nmのCu、1nmのCo、10nmのNiFe、10nmのFeMnを積層したものである。同図から理解されるように、上記実施形態のGMR素子においては、温度上昇に伴う交換結合磁界 H_{ex} の低下量が従来のGMR素子のそれよりも小さくなっている。

【0024】以上、説明したように、第1実施形態においては、固着層15は軟質磁性の磁性膜14と同磁性膜14の磁化を固定する硬質磁性の強磁性膜12とからなり、前記軟質磁性の磁性膜14と前記硬質磁性の強磁性膜12との間の強磁性的相互作用を失わない程度の厚さを有する非磁性金属層13を同軟質磁性の磁性膜14と同硬質磁性の強磁性膜12との間に介在させた。これにより、第1実施形態に係る素子は、その交換結合磁界 H_{ex} が温度変化に対し変化し難く、且つ、高温下での処理が不要となって磁気特性も良好で、外部磁界検出用の素子として好適な特性を有するものとなった。

【0025】次に、図4に断面を示した第2実施形態に係る磁気抵抗素子について説明すると、この素子は、磁気トンネル効果を利用したTMR素子であり、シリコン表面を酸化して SiO_2 としたシリコン基板30を備えている。この基板30は、例えば、ガラス、又は石英等から構成することもできる。基板30の上には、非磁性導電材料であるCrからなり膜厚10nmの下部電極31が形成されている。

【0026】下部電極31の上には、CoPtCrからなり膜厚30nmの硬質磁性の強磁性膜32が形成されている。この強磁性膜32の上には、非磁性導電材料であるCrからなり膜厚0.7nmの非磁性金属層33が積層されていて、同非磁性金属層33の上には、軟質磁性であるNiFeからなり膜厚5nmの下磁性層34が形成されている。これら強磁性膜32、非磁性金属層33、及び下磁性層34は、外部磁界によっては磁化の向きが変化しないことが期待される固着層35を構成する

ものであって、強磁性膜32は被固定層となる下磁性層34の磁化を固定する固定磁化層として機能する。また、非磁性金属層33は、強磁性膜32と軟質磁性の下磁性層34との間の強磁性的相互作用を喪失しない範囲で抑制するように機能している。

【0027】下磁性層34の上には、中間層としての絶縁層36が形成されている。この絶縁層36は、絶縁材である Al_2O_3 からなり、その膜厚は2nmである。

【0028】絶縁層36の上には、Coからなる膜厚1nmの下層膜37が形成され、下層膜37の上には、軟質磁性であるNiFeからなる膜厚60nmの軟質磁性の磁性膜38が積層されている。これら下層膜37と磁性膜38は、磁化の向きが外部磁界に応じて容易に変化することが期待される自由層39を構成している。磁性膜38の上には、Moからなる膜厚30nmのダミー膜40が形成されている。

【0029】次に、上記TMR素子の作用について説明する。このTMR素子においては、磁気情報記録媒体やロータ等が作る外部磁界の変化に伴って、自由層39の磁化の向きが変化する。この結果、自由層39の磁化と固着層35の磁化とが同じ向きになると、層面垂直方向における抵抗値は最小となり、両磁化の向きが 180° 異なると抵抗値は最大となる。実際の使用にあたっては、ダミー膜40から下部電極31に向う（又はその逆方向に向う）一定電流が流されて、同電流方向における素子端子間の電位差が検出され、この電位差から前記抵抗値の変化、即ち、外部磁界の変化が検出される。

【0030】次に、上記TMR素子の磁気抵抗変化率について説明すると、図5(A)、(B)は、環境温度をそれぞれ室温(20℃)、及び高温(180℃)とした場合の外部磁界Hに対する磁気抵抗変化率(MR比)の測定結果を示している。この測定における、外部磁界Hの与え方は、上述した図2(A)、(B)の場合と同様である。また、この測定は、平面視における大きさが縦20 μm 、横100 μm のTMR素子を1000個直列に接続し、これに1mAの電流を流して行った。

【0031】図5から解るように、この素子のMR比は、室温及び180℃の何れにおいても外部磁界が略0(Oe)以上の領域で略0%となる。この場合、自由層39の磁化の向きは固着層35の固定された磁化の向きと同じとなっている。また、室温では略-230~0(Oe)にて、180℃では略-180~0(Oe)にて、MR比は共に略20%となる。この場合、自由層39の磁化は固着層35の固定された磁化の向きと反対向きとなっている。更に、室温では略-230(Oe)以下にて、180℃では略-180(Oe)以下にてMR比は共に略0%となる。この場合、下磁性層34の磁化は固定された磁化の向きとは反対向きとなり、自由層39の向きと同じとなっている。このように、交換結合磁界Hexの絶対値は、環境温度が室温である場合に対し

180℃である場合の方が小さくなる。

【0032】図6の実線及び破線は、種々の温度における上記TMR素子と従来のTMR素子の交換結合磁界Hexの大きさをそれぞれ示している。この測定で使用した従来のTMRは、10nmのCr、50nmのNiFe、1nmのCo、2nmの Al_2O_3 、1nmのCo、10nmのNiFe、10nmのFeMn、30nmのMoを積層したものである。同図から理解されるように、上記TMR素子においては、温度の上昇に伴う交換結合磁界Hexの低下量が従来のTMR素子のそれよりも小さくなっている。

【0033】以上、説明したように、第2実施形態においては、固着層35は軟質磁性の磁性膜34と同磁性膜34の磁化を固定する硬質磁性の強磁性膜32とからなり、前記軟質磁性の磁性膜34と前記硬質磁性の強磁性膜32との間の強磁性的相互作用を失わない程度の厚さを有する非磁性金属層33を同軟質磁性の磁性膜34と同硬質磁性の強磁性膜32との間に介在させた。これにより、第2実施形態に係るTMR素子は、その交換結合磁界Hexが温度変化に対し変化し難く、且つ、高温下での処理が不要となって磁気特性も良好で、外部磁界検出用の素子として好適な特性を有するものとなった。

【0034】なお、第2実施形態においても、第1実施形態と同様、上記固着層35の非磁性金属層13の厚さを0.7nmとしたが、同厚さは磁性膜34と前記強磁性膜32との間の強磁性的相互作用を失わない程度であればよい。具体的には、非磁性金属層33をCrとした場合、その厚さは、好ましくは0.3~1.0nm、更に好ましくは0.5~0.8nmとするといよい。

【0035】以上のように、本発明の実施形態に係る磁気抵抗素子においては、交換結合磁界Hexが温度の変化に対して変動し難いものとなっているので、広い範囲で変化する外部磁界を精度良く検出することができる。

【0036】なお、本発明の範囲内において、種々の変形例を採用することができる。例えば、上記固着層15、35の非磁性金属層13、33は、Crに限られず、Al、或いはCu等であってもよい。また、非磁性金属層13、33は必ずしも膜状である必要はなく、ミクロ的にみれば強磁性膜12、32と下磁性層14、34との間に非磁性の金属分子が不連続的に存在している状態であってもよい。更に、固着層15、35には、上記CoPtCrの他、キュリー温度が比較的高い強磁性材料(例えば、CoTaCr等)を採用することもできる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1実施形態に係るGMR素子の断面図である。

【図2】 図2(A)は図1に示したGMR素子の室温における外部磁界に対するMR比の変化の様子を、図2(B)は同GMR素子の180℃における外部磁界に対

するMR比の変化の様子を示した図である。

【図3】 図1に示したGMR素子の温度変化に対する交換結合磁界 H_{ex} の変化の様子を示した図である。

【図4】 本発明の第2実施形態に係るTMR素子の断面図である。

【図5】 図5(A)は図4に示したTMR素子の室温における外部磁界に対するMR比の変化の様子を、図5(B)は同TMR素子の180℃における外部磁界に対するMR比の変化の様子を示した図である。

【図6】 図4に示したTMR素子の温度変化に対する交換結合磁界 H_{ex} の変化の様子を示した図である。

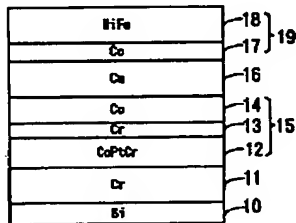
【図7】 図7(A)、(C)は従来のGMR素子の断面図、同図(B)は従来のTMR素子の断面図である。

【図8】 図8(A)、(B)は、環境温度が室温及び180℃における従来の磁気抵抗素子の作動をそれぞれ示す図である。

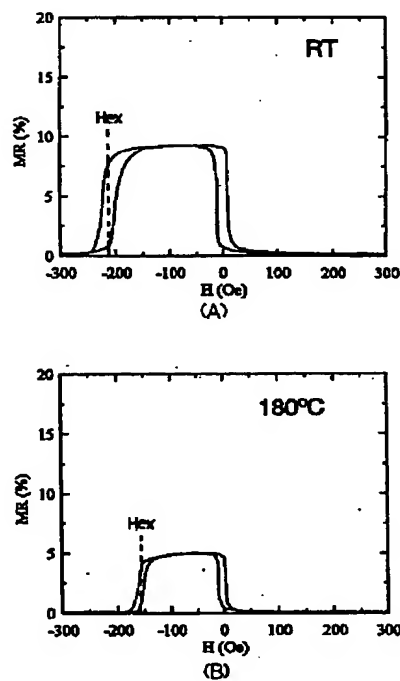
【符号の説明】

10…基板、11…下部電極、12…強磁性膜（硬質磁性の磁性膜）、13…非磁性金属層、14…下磁性層（軟質磁性の磁性膜）、15…固着層、16…スペーサ層（中間層）、17…下層膜、18…磁性膜、19…自由層（軟質磁性膜）、30…基板、31…下部電極、32…強磁性膜（硬質磁性の磁性膜）、33…非磁性金属層、34…下磁性層（軟質磁性の磁性膜）、35…固着層、36…絶縁層（中間層）、37…下層膜、38…磁性膜、39…自由層、40…ダミー膜。

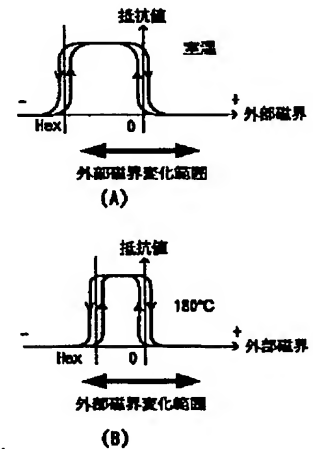
【図1】



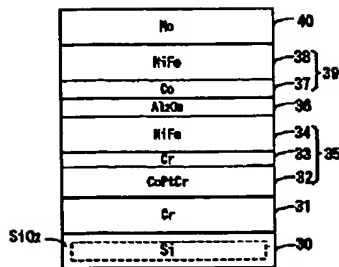
【図2】



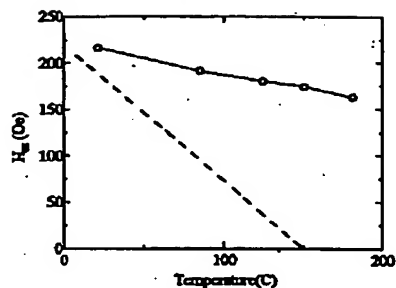
【図8】



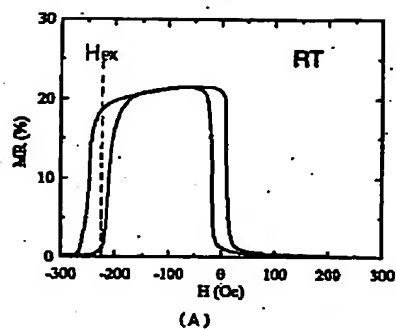
【図4】



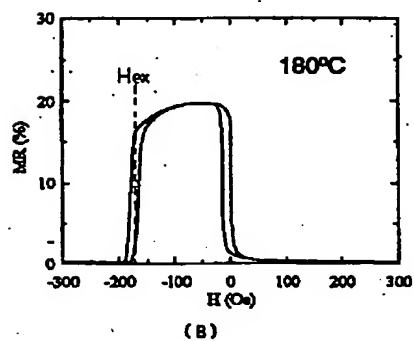
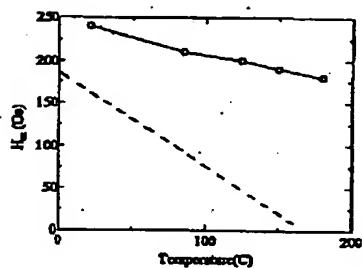
【図3】



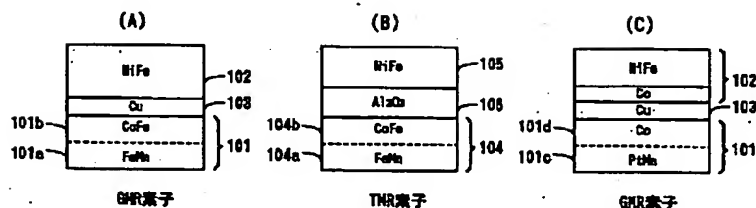
【図5】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

(72)発明者 山下 正芳
静岡県浜松市中沢町10番1号 ヤマハ株式
会社内

Fターム(参考) 5D034 BA05 BA21 CA08
5E049 AA01 AA04 AA07 AA09 BA12
CB02 DB12 DB18

THIS PAGE BLANK (USPTO)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☐ FADED TEXT OR DRAWING

☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)